

電流の発熱作用の指導について

加茂市立下ふ小学校教諭

関 谷 之 治

はじめに

一本の導線の中を電流がどのように流れるかと予想することは、子どもたちにとってかなりむずかしい問題のようである。これは私のクラスの例であるが、乾電池と豆電球を使用した簡単な回路（a図参照）に電流を流したとき、子どもたちは回路の中を電流が一樣な強さで流れているとはなかなか考えない。あとで実態調査のところでも述べるが彼らは、回路の各部分に流れている電流の強さを電源からの距離、電流の方向、負荷の働きなどによってちがいががあるというように考えるのである。回路における電流の流れ方についての認識がしっかりできていなければ、もちろんそれによって生ずる電流のいろいろな働きなど正しく理解できようはずはない。

電流についてこのようなまちがった考え方をしている子どもたちをどのようにして正しい認識に高めたらいいか、ここではこの問題を電熱教材の学習指導の実際を手がかりにして研究してみたいと思う。

I 電熱教材指導の観点

いうまでもなく電熱教材をも含めて電気教材の学習の中心となるものは電流である。具体的にいえば、電源と負荷とから構成された回路において電流はどのような流れ方をし、どのような働きをするかということが電気教材の学習のおもな課題にならなければならないであろう。

このように電流、特に回路を中心にして意識づける学習をここでは回路学習と名づけ、その立場からの電気教材の系列をみると次のような特徴がうかがわれる。

すなわち、3、4年の電気教材では、主として回路における電流の流れ方についての学習に重点があると考えられるのに対し、5、6年の電気教材では、どちらかといえば負荷の働きそのものに学習の重点がおかれているように思えるのである。

負荷の動きを学習するということ具体的にいえば、負荷の直列または並列つなぎにおいてその働きを学習することになる。

つまり高学年の電気教材としてとりあつかわれる電磁石、電熱器などについての学習も、単にそのような器具のしくみや働きだけに關心を集中させるのではなく、今まで学習してきた直列・並列回路における電流の流れ方についての初歩的、基本的な学習が高学年での、この学習にはっきりと意図的なつながりをもち、生かされてくるのでなければならないであろう。

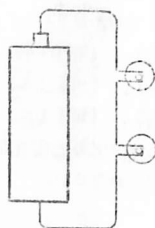
電熱教材指導の観点も今までの回路学習の積み上げをどう図るか、その発展的なつながりをどう確保するかみいささなければならぬと思う。

II 学習指導の計画

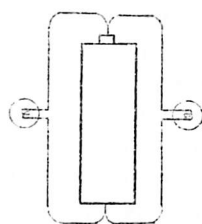
電熱教材の学習で発熱作用を調べるにしても他の電気教材の学習の場合と同様、導線の中をどのように電流が流れるかということについて、つまり回路における電流の流れ方についての正しい認識が必要である。それでこの教材を指導するまえに今までの回路学習が子どもたちにどの程度に定着しているか、導線の中の電流の流れ方についてどのような考え方をしているかということについて実態調査をしてみた。次にその主要な部分を記してみる。

a 図

直列つなぎ



並列つなぎ



a図のような豆電球の直列・並列つなぎ（4年の教材）で豆電球の明るさはどうかを理由もつけて回答させたところ、次のような結果になった。

被検児童34名のうち並列回路が明るいとしたものが19名で、おもな理由としては、

- 1本の線に1つの豆電球だから、電流が1つの場所に行けばよいから、

- 4年で実験したから、並列つなぎだから、（7名）

直列回路が明るいとしたものが13名で、おもな理由としては、

- 電流が2本の線にわかれて流れるので、電流が1本の線を通って流ればよいから、

両回路とも同じ明るさとしたもの2名で、おもな理由としては、

- 両方とも乾電池1個、豆電球2個だから、

もちろん4年では、その理由を学習していないから、この場合子どもたちが説明の根拠として持ちだせるものは、4年の学習で経験したこと、すなわちa図のような回路の場合、豆電球の並列つなぎのほうが直列つなぎより強く電流が流れるので明るいという経験以外はない。ところがこの実態調査ではそのような回答をしたものはわずか7名しかおらず、けっして定着がよいとはいえない。

次にこのデータをさらに詳しくたいて調べてみると子どもたちはこのような回路に電流が一樣な強さで流れているとはほとんど予想

してないことがわかった。例えば並列回路で豆電球が明るいときと正答できた子どもでも、乾電池から流れる+、-という2種類の電流が豆電球のところではぶつかりあわさって強くなりそのために明るくなると考えた者がある。また反対に豆電球のところでは、電流が光にかわってしまうからそこが一番弱いと考えている子どももある。またリード線が乾電池に近いからそこが電流の強い場所だと考える者もかなり多い。

子どもたちのこのような実態調査からしても電熱教材の学習指導で回路学習をたいせつにし、重視しなければならないということができよう。

1 学習内容

電熱教材の学習は電流の発熱作用を、抵抗を負荷とした直列・並列回路における電流の流れ方の理解を土台として考えられなければならない。そうだとすれば導線の発熱（発光も同様）の母体は電流であるという認識が先ず重要であり、次に発熱量が多くなる場合として抵抗という条件がでてくるであろう。こう考えると電熱教材の学習内容は次のようになる。

- ・ 電流が強ければ強いほど導線の発熱（発光）も強い。
- ・ 電流の強さが一定ならば、電流を通しにくい導線ほど強く発熱する。
- ・ 電流の通しにくさ、通しやすさは導線の長さ、太さ、材質によってこととなる。
- ・ 電熱器具の発熱（発光）の原理、しくみを知る。

2 学習のコース

このような学習内容を先の私のクラスの子どもの実態から考えてその学習過程に無理が生じないように、もっとも簡単な段階から出発して少しずつ条件を変えたり加えたりして次第に複雑な回路学習へと進むような学習のコースをえらび、それを次の3つのステップにわけてくんでみた。

第一次の回路学習

もっとも単純な回路における電流の流れ方と発熱作用（ニクロム線1本を負荷とした場合）

第二次の回路学習

直列・並列回路における電流の流れ方と発熱作用（太さ長さが同じニクロム線2本を負荷とした場合）

第三次の回路学習

直列・並列回路における電流の流れ方と発熱作用（太さ長さが同じニクロム線1本と銅線1本計2本を負荷とした場合）

3 実験装置

b図のような実験装置を各グループ（全体で6グループ、グループの構成は男女混合で5～6名）に配置し学習の全過程を子どもたちにやらせてみて、学習のコースのどの場面で、どういう問題につきあた

るか、その問題をどう解決したらよいか考察することにした。

次に器具の説明をすると、

イ 電源装置 DC.0

～12V 安全電流5

Aのもの、ここでは回

路の途中での電流だけ

に着目させたいので装

置に付属している電流、電圧計には紙をはり使用させない。電流計は場所を移動させる必要があるから別に単独のものを使用する。

ロ 直流電流計 50mA, 500mA, 5A3段、合付を次に示すランプと併用し回路内を移動させる各部分の電流の強さをはかる。

ハ パイロットランプ 12V 80W（自動車のライト専用のもの）この学習では銅線の発熱作用を調べることに重要な意味があるのでその場合、万一の事故のことも考えて安全器兼用の意味でこのランプを使用した。子どもたちには電流計と同じ働きをする器具——4年の回路学習における豆ランプと同じ働きをする器具として指導した。このパイロットランプを挿入することによっていくらか実験器具が複雑になったので、子どもたちの思考活動の上で混乱を起こしはしないかという恐れもあったが、結果的にみるとそれほど混乱はなかったといえる。

ニ 実験用導線 ニクロム線と銅線の2種、銅線はエナメル線を使用した。いずれも外径0.18ミリ程度のものをやや長めに用意してリード線と固定する部分を除外しても負荷としての有効長さは1本につき約20cmが正確に使えるようにした。

III 学習指導の実際

——指導時数8時間、評価1時間を含む——

第一次の回路学習（指導時数2時間）

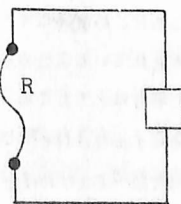
もっとも単純な回路における電流の流れ方と発熱作用○図参照

学習内容

イ 電流が強ければ強いほど導線の発熱も強い。

ロ 回路の各部分に流れる電流の強さは、どの場所でも同じである。

○図



方法

各グループとも実験器具を使用して○図のような回路を構成する。負荷Rとしてニクロム線1本を挿入し電流を少しずつ強めながらニクロム線の発熱状態を観察する。

考 察

イ、ロの2つの学習内容は、電流の発熱の発熱作用を回路学習で積みあげようとする場合、もつとも基本的なもの、そして学習のコースの全過程を通して土台とも出発点ともなるべき極めて重要な内容であると考えた。

現在となえられている電流の発熱作用の学習コースに2つの進み方がある。

1つは理科教育講座指導書(文部省発行)や教科書などにある展開例のように発熱作用を先ずニクロム線と銅線の抵抗のちがいから調べようとするコースであり、

他の1つは、例えば学習内容のイのように発熱作用を先ず導線を流れる電流を基本にし、その強弱から調べようとするコースである。昨年度(昭和39年度)の文部省主催の小学校教育課程研究発表会の集録をみると理科部会でもやはりこのことが討論され、多くの実践例をふまえた意見がだされたが、そこでの発表者や講師の意向としては、電流の発熱作用の学習は電流を中心として進むべきだという方向付けがなされたようである。

電熱教材を回路学習という面からながめ、そのような面からの学習の積み上げを考える立場からすれば、発熱作用を後者のようなコースで進むのはむしろ当然の帰結であり、また実際に指導してみても実感としても同様のことがいえる。

ニクロム線に電流を多く流せば赤く強く発熱する。ニクロム線があまり赤く熱くならないのは電流が少なく流れているからだという電流の発熱作用の極めて初歩的ではあるが基本的な学習内容は各グループとも容易に確実に理解されたといつてよい。この実験装置だと電圧を最大にすると約1Aの電流が流れニクロム線は強く赤熱する。

子どもたちはこの現象をみて「電熱器みたいだ」と声をあげた。この点子どもたちの感覚は極めて敏感であり本質的なとらえ方をする。私はここで電熱器をふくめて電熱器具の発熱(発光)の原理としくみについて説明をした。

学習内容のロは、導線の発熱作用をそこに流れる電流の強さを基本として調べようとする学習のコースをとる場合、特にたいせつな意味をもつ内容であるが、これは最初にも述べたようにクラスの子どものちの大きなまちがった考え方をしているところでもある。

それで測定箇所も先の実態調査のデータをもとにして、電源の+、-の2つの極の部分と負荷、ここではニクロム線の内部の3か所を測定した。ニクロム線の内部の電流の強さの測定はニクロム線を2分してその中に電流計を挿入すればよい。これはこの教具のすぐれた特長ともいえる。回路学習で回路の各部分に流れている電流の強さを測定するのに負荷として電球などを使用した場合はとてもこのようにはいかない。ただしニクロム線を切断して測定するときは、2分されたそれぞれの線の有効負荷としての長さが切断前と同一でなければならぬことはいうまでもない。

この電熱教材の学習の全コースを通して使用される実験器具のほとんどは、子どもたちにとって未経験のものばかりである。そして子どもたちがこのような実験器具の使用法を理解し、使用法になれなければ実際のところ学習のコースは一步も進展しない。そのようなわけではこのことは電熱教材の直接の学習内容ではないけれどもその指導にはじゅうぶん意を用いる必要があるだろう。

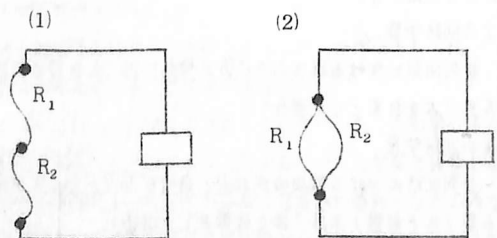
それでこの場合、回路自体は電熱教材でとりあげる回路学習の中でももっとも簡単——3年で学習する回路と本質的に同じ——であるけれども2時間をこの学習に投入した。実験器具も操作の点で混乱が生じないようにリード線の色を電源装置、電流計の両極の色にあわせ色を見れば接続が正しく行なわれ回路が構成されているかどうか判断できるように配慮した。このようにすると能力の低い子どもでも器具を操作でき能率をあげることができた。

最後にもう1つの学習を通して気づいたことは、回路学習には、回路図(配線図)のように実物を記号で単純化し、それにもとづいて回路における電流の流れる方、負荷の働きを考えさせるという学習も実際にとりいれてみると効果があるので考えてみる必要があるということである。今まで回路図などは、どちらかといえばむずかしいもの、子どもたちの思考をかえって混乱させるものとして敬遠されがちであったが、そのすぐれた面をもっと積極的にとりあげても、よいのではないか。回路図が学習内容として出てくるのは、4年であるがそれ以後は必ずしもはっきりした形で出ているとはいえない。

しかし電熱教材をもふくめて電気教材一般を回路学習として積みあげ、全体として教材間に発展的なつながりをもたせようとするならば、回路図の系統的な指導をぬかすわけにはいかないのではないかと思う。この学習でも実験器具を接続したり、電流の流れ方を考えるとき、回路図をもとにしてやらせる機会を多くつくったし、なれてくると回路図があったほうがよいという意見を子どもたちの口からもきけるようになってきた。

第二次の回路学習(指導時数2時間)

直列・並列回路における電流の流れ方と発熱作用 I d図参照
d図



学習内容

イ 導線が同質の場合、その長さが長いほど電流は流れにくくなり太さが太いほど流れやすくなる。

ロ 直列つなぎでは、回路のどの部分でも電流の強さは同じい。

ハ 並列つなぎでは、回路全体を流れる電流は並列の部分で分かれて流れる。

方 法

負荷 R_1 、 R_2 にニクロム線を挿入し第一次と同じ方法で電流の強さと発熱の関係をみる。この場合直列回路（d図（1））は結局第一次のニクロム線の長さが長くなったと同じ意味をもち、並列回路（d図（2））はニクロム線の太さが太くなったと同じ効果をもつ。電圧最大（12V）で前者は約0.5A、後者は約2Aの電流が流れる。

考 察

これは回路学習の系統からすれば、4年の教材にあたり、同時にまた電熱教材でもっとも重要な第三次の学習へと進むための土台ともなるべき回路である。それで事前に子どもたちが、どのような考え方でこの回路の電流の流れ方を予想するか調査したところ次のようなことがわかった。すなわち、直列つなぎではニクロム線の長さが2倍になったのだから、その分だけ電流が流れにくくなる。並列つなぎでは電流の通り道が2本だから電流は流れやすくなるというように彼等は電流の強弱を抵抗という要因から予想しようとする。しかし発熱作用の面になるとこんどはどちらかという電圧という要因からそれを説明しようとする。例えば同じ2本のニクロム線の直列つなぎ必ずしも発熱が弱いとはいえない。なぜならニクロム線に1Aまでの電流を流せることがすでにわかっているから、並列つなぎが必ずしも発熱が強いとはいえない。なぜなら電源から出る電流が2つに分かれてしまうからという論理である。このことについての話し合いの中で子どもたちは、電流の流れ方の予想や比較をするとき抵抗という条件とともに、電圧（子どもたちは電流を流す力という）という条件も考慮しなければならないことに気づいたのである。このように多少の混乱はあったけれども結果的にみて各グループともわりあい容易に正しい予想をたてることができた。その際 数は少なかった（先の事前の実態調査の項参照）が、4年の豆電球の直列・並列つなぎについての子どもの学習経験が決定的な役割をはたしたことは注目しなければならない。

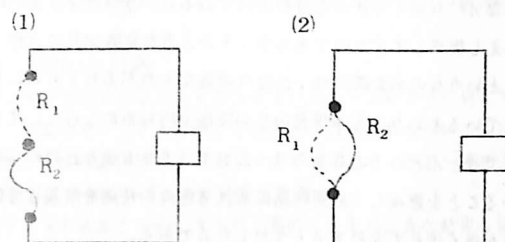
なおこの実験装置では並列に挿入された2本のニクロム線は、リード線に固定されているだけなので並列の間隔は自由に広げたりせめたりすることができるようになっている。それでリード線を横に引くと2本の強く赤熱したニクロム線はピッタリと互いに付着して、ちょうど1本の太いニクロム線のようにみえる。この現象をものめずらしく感じた子どもたちは、口々に「並列つなぎは引っぱると直列つなぎみたいになる」とか「細い線の並列つなぎは太い線の直列つなぎみたいだ」というような会話（この場合の直列つなぎはe図のような簡単な回路をいう）をしながら今までの回路学習の積み上げを関連づけてみたのである。

第三次の回路学習（指導時数3時間）

直列・並列回路における電流の流れ方と発熱作用 II e図参照

e 図

実線はニクロム線 点線は銅線を示めす



学習内容

イ 銅線はニクロム線より電流を通しやすい。

ロ 銅線も電流を強く流すと発熱する。

ハ 電流の強さが同じければニクロム線の方が銅線よりも強く発熱する。

方 法

まず最初に第一次に学習したと同じ回路（C図参照）で、ニクロム線のかわりに銅線を負荷として挿入し電流の強弱と発熱のようすを調べ次にニクロム線との直列・並列回路の学習に進む、銅線としてエナメル線を使用すると銅線が赤熱する前にエナメルがこげ、もえだすので発熱の程度を知るのに便利である。

考 察

電熱教材の学習では銅線とニクロム線の直列回路（e図（1））の学習で終わるのが普通であるが回路学習の発展的な積み上げという点からすれば当然この発熱作用の学習は並列回路をとりあげなくてはならぬ。そうでなければ結局のところ単なる電熱器具の原理としくみという極めて即物な学習に終始し、電流の発熱作用もニクロム線だけにみられる個有の現象のように受けとられやすくなる。そうではなくて電流の発熱作用は、導線に過大電流が流れた場合の1つの基本的な現象であると子どもたちが認識するのがより本質的であり自然ではないだろうか。ここで第三次の回路学習に並列回路（e図（2））を加え、ニクロム線とはもともと対照的な銅線の発熱現象をあえてとりあげたのはこのような理由からである。

学習内容のイ、ロで子どもたちは始めて抵抗には、長さ、太さという条件のほかには質という条件が存在することを学習するわけである。材質のちがいが抵抗のちがいとなって表われることを明確にするには、他の2つの条件を同じにして比較しなければならない。しかしこのことはだまっているとその重要さに気づかずしてすどしてしまいがちであったので私のクラスの場合、ここで方法上の問題としてはっきりと子どもたちが頭に意識化してから学習を進めることにした。

この実験装置だと銅線は12Vで約5Aの電流を流すので、同じ長さ、太さの銅線がニクロム線にくらべて極めて電流をよく通すことが子どもたちにもはっきり理解される。この学習は印象が強いので次の

銅線とニクロム線との直列つなぎにおける電流の流れ方を正しく予想をたてる場合、大きな障害となった。つまり今まで直列回路では、回路のどの部分にも同じ強さの電流が流れているという学習を意識的に、くりかえし指導してきたのであるが、そのような回路学習の定着、積み上げというものが実際には、かなり困難なものがあり、もろいものをもっているということが学習のこの段階で明らかになった。すなわちここでほとんどの子どもたちは、銅線がニクロム線と直列に接続されていることを無視し、直列回路に流れる電流の法則を無視して銅線に電流が強く流れて発熱すると予想したのである。

しかしこのような事態は、私たちにとって全々考えられなかったことではない。私たちはこの学習のつまずきが次の学習を正しく進めるための力強いステップにしたいと考えたので、実は、あえてこのような学習のコースを組んだのである。

実際、このような子どもたちのまちがった予想が、彼ら自身の手で実験されて完全に否定されてしまうと、子どもたちは、あらためて今までくりかえし学習してきた直列回路における電流の流れ方についての法則の不変性を強く再認識したのである。その事実をみたある子どもが「やっぱりなあ」というつぶやきをもらしたが、このへんの気持を端的に表わしているものとして受けとつてよいのではないかと思う。

並列回路では、このような予想のつまずきはほとんどなかったといつてよい。ただこの場合注意しなくてはならないのは、ニクロム線がほとんど発熱しないので、子どもたちの中には、電流はすっかり銅線の中を流れてしまつてニクロム線には、電流が流れていないと考える

者がいるのでニクロム線に電流計を挿入し、そこにもわずかなから電流が流れていることを確認させる必要がある。

む す び

旧来の理科の指導要領にかわつて現行の理科指導書が採用されたとき、学習指導の方針と方法について7つの修正点が示されたが、その中の1つとして「学習の積み上げを考えること」があげられている。このことは電気教材の学習指導の場合、極めて重要な項目になると思う。これは、電気教材では、電流が学習の中心とならなければならないが、この電流はもちろん子どもたちが直接目で見、指でたしかめることのできないものであるから、その学習には、単に電気現象の個々の事実を見せるだけではなく同時に論理的なすじの通つた思考がそこに働かなければならない。そのためこの電熱教材の学習のコースをくむ場合においても、学習内容の点から、また子どもたちの認識の点からいってもすじみちがよく通りはっきりしていること、すなわち個々の学習が孤立しないで発展的なつながりをもつことがたいせつになってくる。私はそれをここで回路学習という面から考えてみた。紙面の都合で学習の最後に行なつた総合的な評価について述べることのできないのは残念であるが、私自身としては、このたびの電熱教材の学習指導の実践とその総合的な評価を通して、このような考え方が現在のところまだ数多くの問題点をかかえているにもかかわらず、その前途にささやかではあるが、希望と確心をもつたことを幸とするのである。